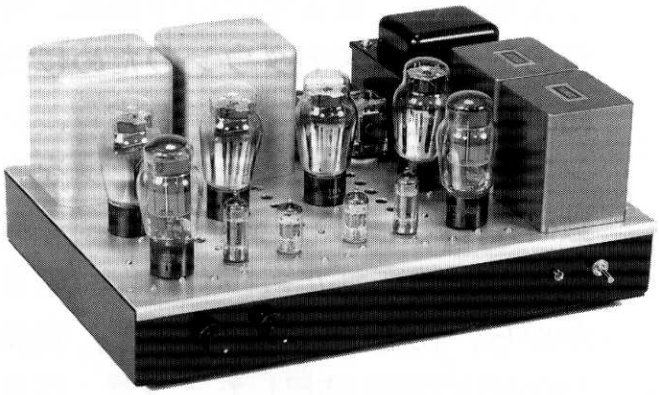
最大出力32W，グリッド接地型直列回路を採用したB級プッシュプル出力段

46プッシュプルパワーアンプ

征矢　進　SOYA Susumu



筆者が名付けたGGS回路（グリッド接地型直列回路）は，基本はカスコード回路を出力段に応用したもの．この回路は電源部が少々複雑にはなるが，ドライブトランスに係わる各問題を解決でき，B級アンプを製作するには最適．出力管46の第1と第2グリッドを接続し使用した実質的な3極管構成の3段増幅．入手可能なパーツの使用と，調整はハムバランスとDCバイアスのみで簡単に製作が可能．周波数特性は回路の工夫により20kHzまではフラット．長時間聴いていても疲れないアンプとなった．

はじめに

昨年10月の真空管オーディオフェアにおいて，2010年6月号で紹介しました6Z7Gと6BM8の5極部を使用した，カスコード型プッシュプルアンプを聴いていただく機会を得ることができて，うれしく思いました．誌面から音は聴けませんので，このようなイベントはよいことだと思います．好き嫌いはともかく，来場いただいた方にとって，その音質を理解いただけたことと思います．

今回はその発展型として，二重グリッド直熱管を出力管46と6AS7Gを組み合わせ，6Z7Gアンプと同じ回路を採用した，B級プッシュプルアンプを紹介したいと思います．

46は第2グリッドをプレートに接続した，低内部抵抗管としての使用例は見かけますが，第2グリッドと第1グリッドをつないだ，B級専用の高内部抵抗管としての使用例は，手持ちの文献の中ではほとんど見かけません．強いて探せば，浅野勇氏の著書『魅惑の真空管アンプ』の中に，入力トランスを使用した実例が掲載されている程度です．

そのためか，46のB級動作に関する資料が乏しく，$E_p - I_p$曲線も不明です．実測するのはよい方法ですが，第2グリッドと第1グリッドをつなげば0バイアスB級管となり，当然，大きなグリッド電流が流れることになります．

したがって，実測中に真空管を不良にしてしまう可能性があり，今回は自分が持っている資料を最大限に生かし，それを基に予測を立てた上で回路設計を行い，後はアンプが完成してから実測することで，安全性について確かめることにしました．

いささか心もとないのですが，たとえ資料が少なくても，このような設計方法もあることをおわかりいただければ，真空管の利用範囲がさらに広がるのではないかと思います．

読者の皆様の参考になれば幸いです．

GGS回路

私が勝手にGGS回路（グリッド接地型直列回路）と呼んでいますが，基本はカスコード回路を出力段に応用したものです．詳しくは昨年の3，4月号で説明しましたので，ここでは簡単に説明します．

まず，図1を見てください．3種類のカスコード回路の等価回路を示します．(a)はグリッドリークバイアス抵抗（R_{g1}）でV_{1a}のバイアスを取ったものです．(b)はポテンシャル型と呼ばれる回路で，R_{g2}とR_{g3}でE_bを分圧し，その電圧をV_{1b}のグリッドに与えることで，カスコード回路を構成しています．(c)はGGS回路の基本です．

等価的には(b)の回路と同じですが，大きな違いは上段のグリッドを直接アースに落とすことです．このようにすれば，V_{1c}のグリッ

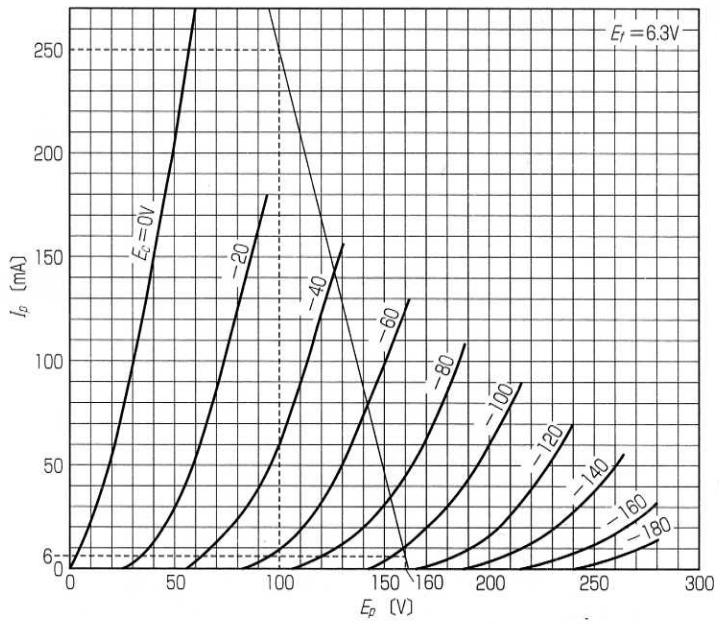


図1における①の条件のとき，6AS7Gの出力を推定する．

(1) 46の$I_p + I_g$ = (200 + 50) = 250mAと仮定する．

(2) 46の入力電圧は60Vと仮定する．

そのときの出力電力は，

$$P_{OUT} = \frac{(160 + 110) \times 0.25}{2} = 7.5(W)$$

ここで46のグリッド励振電力は0.95Wなので，その分の電力は46のグリッドで消費されて熱になる．

したがって，7.5 − 0.95W = 6.55Wが出力トランスの2次側に現れ46の出力に加算されることになる．

［図3］6080（6AS7G）の$E_p - I_p$特性図

$E_p - I_p$特性の必要な部分を推測したものです．

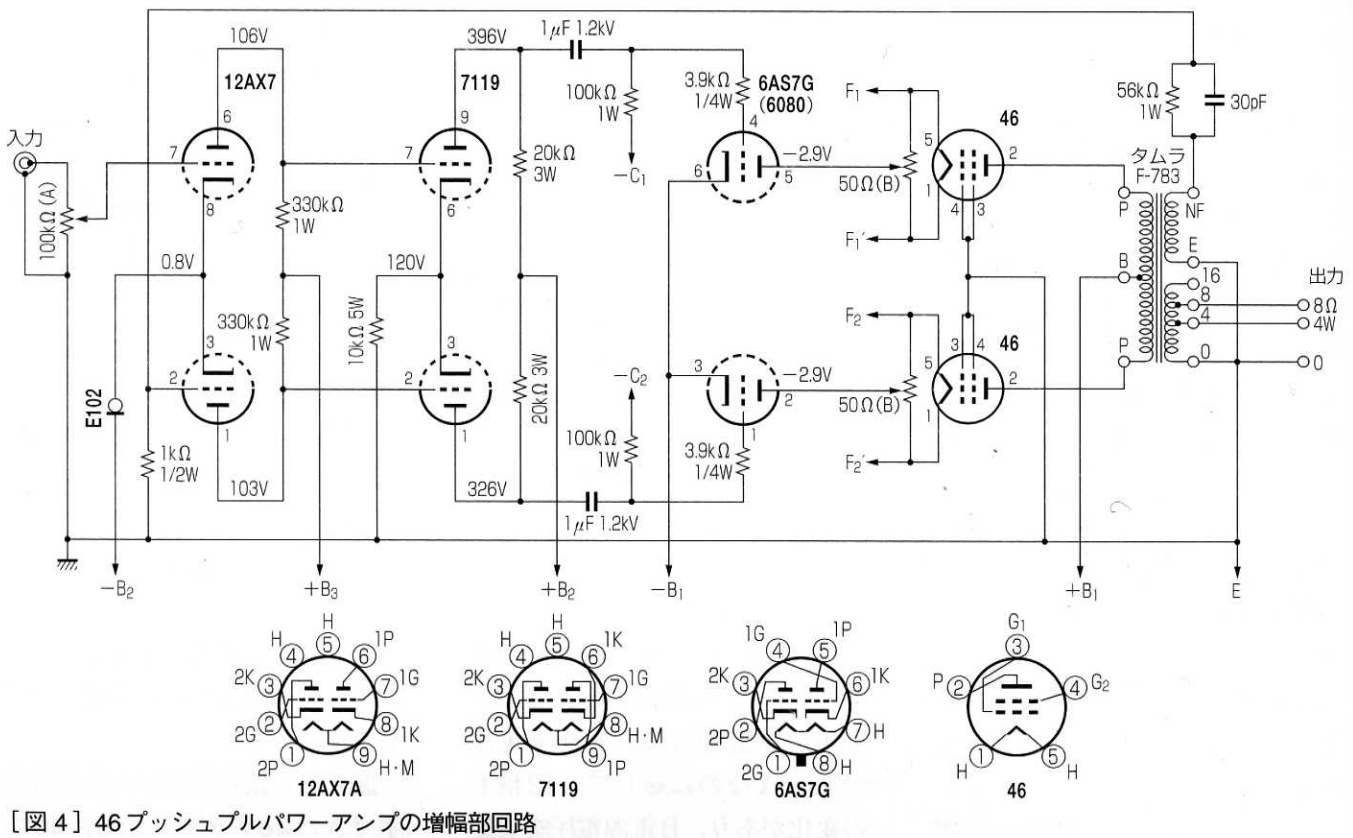
浅野勇氏は『魅惑の真空管アンプ』の中で，46 B級プッシュプルアンプを実験した際，28Wの出力を取り出したとの記述がありますが，たぶんI_pの最大値である200mAラインまでドライブできた結果ではないかと推測しています．

そのときのグリッド入力電圧は，60Vを超えているでしょうし，またグリッド電流は多量に流れているものと考えられます．その場合でもGGS回路は，下段管のドライブ能力にさえ注意すれば，まったく問題なく使用できるところがメリットです．下段は6AS7Gの1ユニットを使用しました．

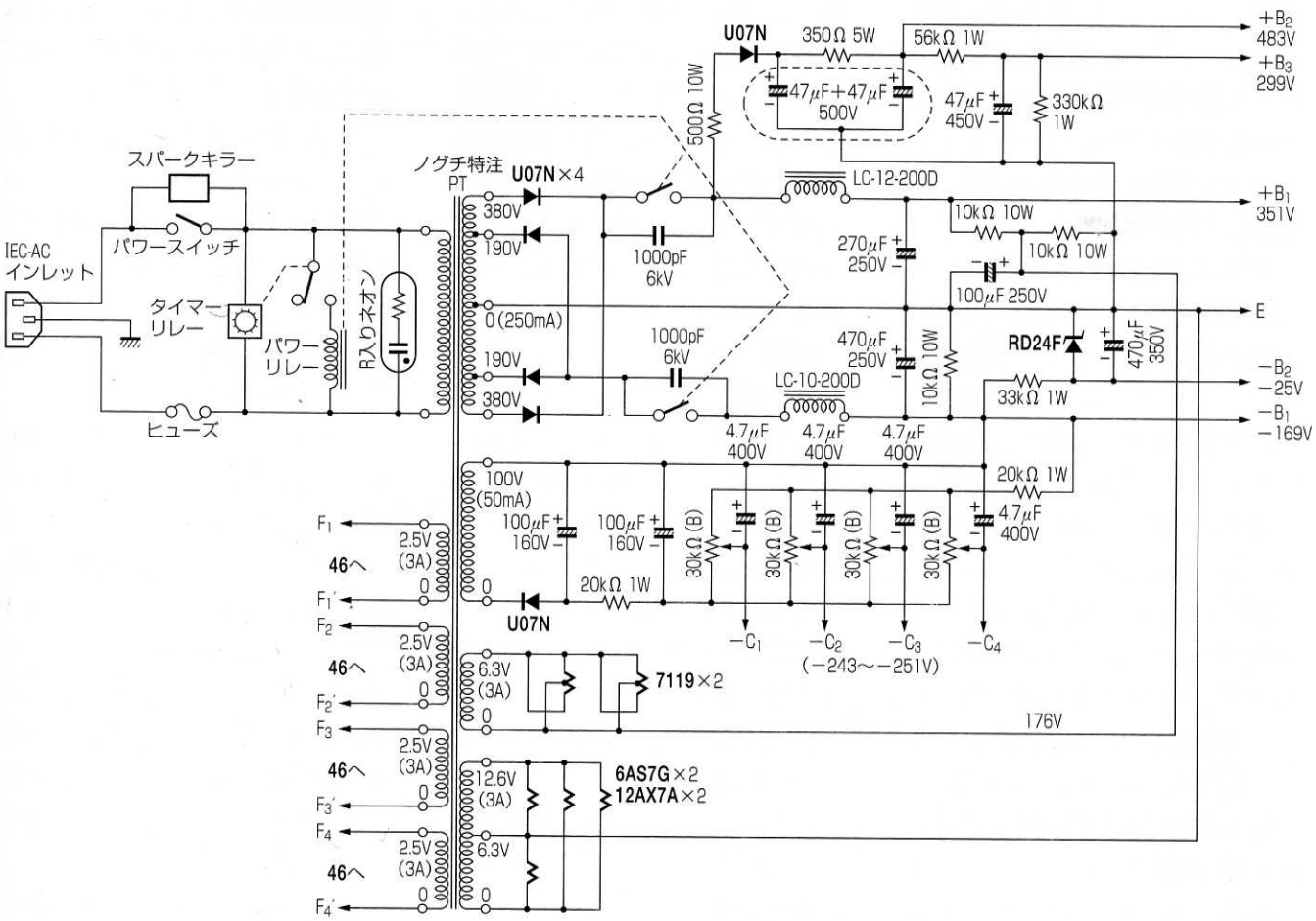
図3をご覧ください．これは6080の$E_P - I_P$特性です．6AS7Gも同じですので流用しました．

今，仮に46の最大出力時における動作はI_p = 200mA，I_g = 50mA，E_g = 60Vだと仮定します．このとき6AS7Gはその動作に対応した変化をします．

図3にはそのときの負荷線を引



［図4］46プッシュプルパワーアンプの増幅部回路



［図5］46プッシュプルパワーアンプの電源部回路

いてあります．図中に計算方法を示しますが，6AS7Gの出力は7.5Wとなります．この出力電力のうち，46のドライブ電力（0.95W）は46のグリッドで消費されますので，残りの6.55Wが出力トランスの2次側に現れることになります．

したがって，46の最大出力が図2により29Wだとすれば，この6.55Wが加算されて，35.5Wが最大出力となります．出力トランスの定損失を加味しても，30W程度の最大出力となることが予測できます．

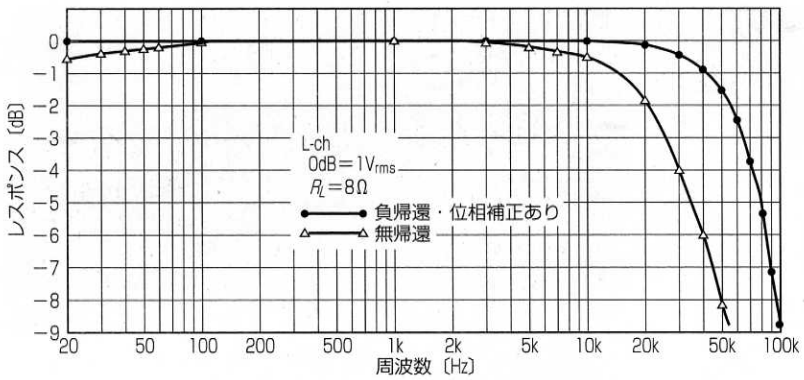
回路設計

本機の全回路は図4，5に，また使用した真空管の定格は表2に示します．

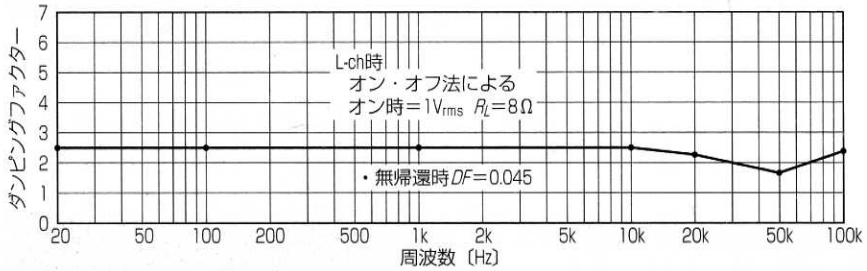
本機は図4を一見すると，4段

［表2］使用した真空管の定格

型番		46	6AS7G	7119	12AX7A
用途		2重グリッド直熱出力管	低周波電力増幅用双3極管	中増幅率双3極管	高増幅率双3極管
E_f〔V〕×I_f〔A〕		2.5×1.75	6.3×2.5	6.3×0.64／12.6×0.32	6.3×0.6／12.6×0.15
最大定格	E_p〔V〕	400	250	300	300
	E_{g2}〔V〕	400	—	—	—
	P_p〔W〕	10	13	4.5（両ユニット同時＝8Ω）	1.0
	I_p〔mA〕	200（ピーク）	125	60	8
	μ	5.6	2	24	100
	g_m〔S〕	2.35	7.5	15	1.6
	r_p〔kΩ〕	2.38	0.28	1.6	62.5
	E_{hk}〔V〕	—	300	200	180
その他		A級接続のとき	レギュレーター用抵抗管として開発された	コンピューター管として開発された	
同等管，相当管		59（傍熱管）	6080（高信頼管）	5687，7044	ECC83，7025など



［図7］周波数特性



［図8］ダンピングファクター特性

す．これは片チャンネルごとに行います．ダミー抵抗として8Ω 20W程度の抵抗を出力端子につなぎ，入力ボリュームは絞ってからパワースイッチを入れます．そうしたら，いったん外しておいた負帰還抵抗をつないでみます．もし正帰還であれば盛大に発振します．

スピーカーをつながなくても，46が唸るような音を発するので，すぐにそれだとわかります．その場合は，46と出力トランスのP_1とP_2の配線を入れ替えてください．そこまでできたら，残りのチャンネルも同じように行います．

最後に各部の電圧を再度計測して，本機の±5％以内にあれば，正常に動作しているものと考えられます．

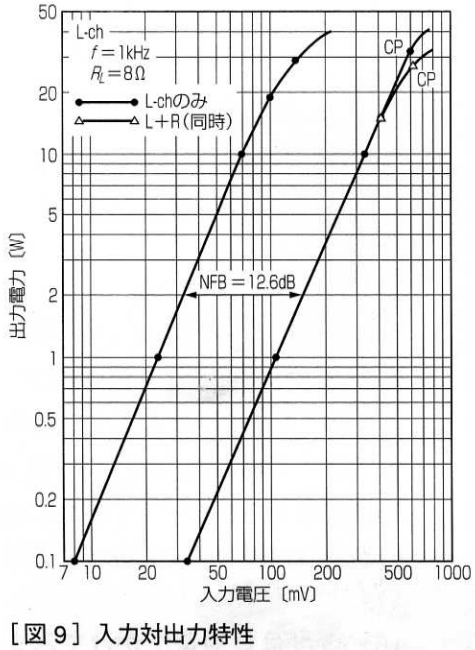
動作確認

図6は本機の実測データです．2.5級の安価な電流計ですが，参考にはなると思います．

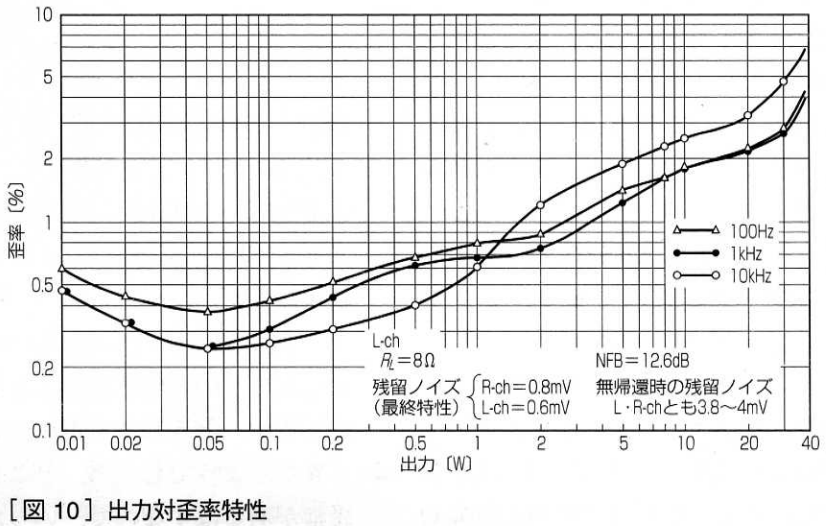
プレート電流は無信号時は12mAであったものが，最大出力時には12倍近い153mAまで増加します．同じくグリッド電流も，1.5mAから30mAまで増加します．これは実効値なので，ピーク・トゥ・ピーク時では約3倍の電流値となります．

この電流変化のため，プレート電圧は356Vから335Vに低下してしまいます．それでも整流がチョークインプット方式なので21Vの低下ですみました．同様に−B電源も約10Vほど低下しています．46のB級動作は，A級動作とは比較にならない並外れた動作であることがおわかりいただけると思います．

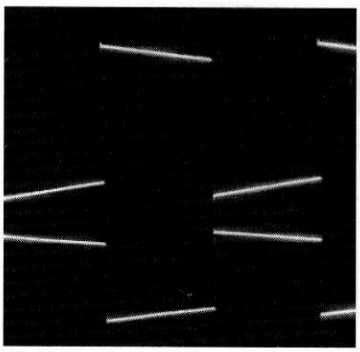
なお，別表に46の最大出力時におけるプレート損失を計算したものを示しますが，負荷抵抗値が発表値よりも少し低くなっている



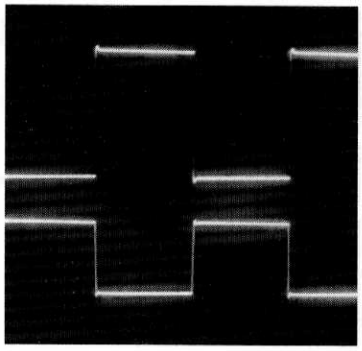
［図9］入力対出力特性



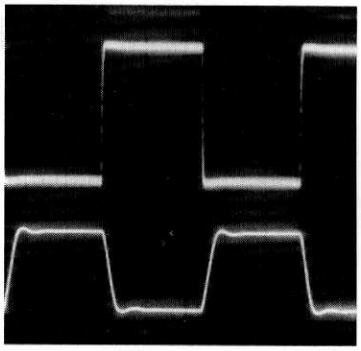
［図10］出力対歪率特性



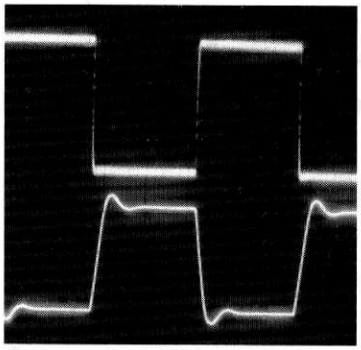
［写真11］方形波再現波形（L-ch, f＝100Hz，負荷抵抗8Ω，上：入力，下：出力）



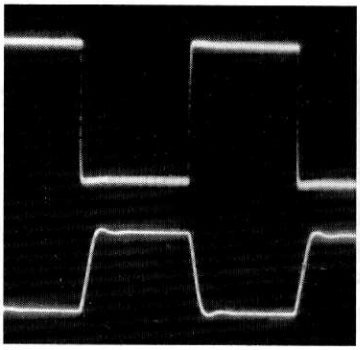
［写真12］方形波再現波形（L-ch, f＝1kHz，負荷抵抗8Ω，上：入力，下：出力）



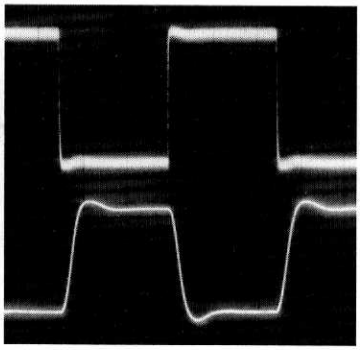
［写真13］方形波再現波形（L-ch, f＝10kHz，負荷抵抗8Ω，上：入力，下：出力）



［写真14］方形波再現波形（L-ch, f＝10kHz，負荷オープン，上：入力，下：出力）



［写真15］方形波再現波形（L-ch, f＝10kHz，負荷抵抗8Ωに0.47μFを並列接続，上：入力，下：出力）



［写真16］方形波再現波形（L-ch, f＝10kHz，容量負荷0.47μFのみ，上：入力，下：出力）

ためか，10％ほど定格をオーバーしてしまいましたが，46は本来B級増幅用に設計されたタフな出力管であること，本機は大出力アンプであること，そして連続波形ではなく，音楽信号を扱うことから，まずは安全圏にあり，安心して使用できるものと考えます．

特　性

図7は周波数特性です．カスコード回路は高域までよく伸びるはずですが，46の内部抵抗が高いためと，初段の負荷抵抗が高いことにより，無帰還時での周波数特性は芳しくありません．

これに12.6dBの負帰還をかけると，高い周波数で少し暴れが出ますので，微分補正用に30pFのコンデンサーを負帰還抵抗にパラレルに入れました．これで20kHzまではフラットな特性になり，それから高域に向かってなだらかに低下します．

図8はダンピングファクター特性です．20Hzから10kHzまでは，ダンピングファクターが2.5程度となっています．高域では少し上下しますが，大きな暴れはありません．

なお，無帰還時のダンピングファクターは0.1を下回り0.045程度となりました．これはカスコード部がかなり高い内部抵抗値を持っていることを示しています．

図9は入力対出力特性です．B級アンプは電流変化が激しいため，片チャンネル動作と両チャンネル動作では最大出力に差が出ます．

Lチャンネル単独だと，最大出力は32Wですが，L-R同時では28Wまで低下します．そのときの入力電圧は600mVで，少し高感度なアンプに仕上りました．

図10は出力対歪率特性です．最低歪率は0.25％で，使用頻度の高い1W以下では1％を切っています．

各周波数において歪率カーブに若干の差はありますが，ほぼ同様な傾向となりました．B級アンプですが負帰還を12.6dBもかけたので，この程度の特性は当然かもしれません．

なお，残留ノイズはL-chが0.8mV，R-chが0.6mVとなりました．46のフィラメントは交流点火ですが，これはハムの打ち消しが行われていることと，単に負帰還効果のためでしょう．

波形観測

写真11は100Hz，写真12は1kHz，写真13は10kHz，それぞれの周波数における方形波再現波形です．10kHzに少しオーバーシュートの名残がありますが，問題ない波形だと思います．

写真14は負荷をオープンにし